

不同播期对鲜食玉米花粒期光合特性和碳氮代谢的影响

安林¹, 韦海龙¹, 程乙^{1,2}, 邹军³, 左晋⁴, 刘代铃¹, 宋碧^{1,5}

(1. 贵州大学农学院, 贵阳 550025; 2. 贵州省粮油作物分子育种重点实验室, 贵阳 550025; 3. 贵州省农业农村厅, 贵阳 550025; 4. 贵州省山地环境与气候研究所, 贵阳 550025; 5. 贵州省高等学校功能农业重点实验室, 贵阳 550025)

摘要: 以万糯2000(A1)、农科糯336(A2)和彩甜糯6号(A3)为试验材料, 于2021-2022年在贵阳清镇设置B1(3月10日)、B2(3月20日)、B3(3月30日)、B4(4月9日)、B5(4月19日)、B6(4月29日)共6个播期, 测定鲜食玉米吐丝期光合特性、灌浆期碳氮代谢物质和产量。结果表明, 播期和品种显著影响吐丝期叶片光合指标, 适当推迟播期有利于改善叶片光合特性。晚播不利于淀粉的积累, 但有利于可溶性糖和蛋白质含量的增加。鲜食玉米产量两年分别为B1、B2播期显著最低, 且均为A2品种显著最低。灰色关联度分析表明, 叶绿素相对含量和可溶性糖分别是影响产量的关键光合指标和碳氮代谢物质。综上, 在黔中地区推迟到4月中上旬播种并搭配适宜品种, 将有利于改善鲜食玉米光合特性, 协调碳氮代谢平衡, 并促进产量的提升。

关键词: 鲜食玉米; 播期; 光合特性; 碳氮代谢; 产量

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Effects of Different Sowing Dates on Photosynthetic Characteristics and Carbon and Nitrogen Metabolism of Fresh Maize from Flowering to Maturity

AN Lin¹, WEI Hai-long¹, CHENG Yi^{1,2}, ZOU Jun³, ZUO Jin⁴, LIU Dai-ling¹, SONG Bi^{1,5}

(1. College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang 550025; 2. Key Lab of Molecular Breeding for Grain and Oil Crops in Guizhou Province, Guiyang 550025; 3. Department of Agriculture and Rural Affairs of Guizhou Province, Guiyang 550025; 4. Institute of Mountain Environment and Climatology of Guizhou Province, Guiyang 550025; 5. Key Lab of Molecular Breeding for Grain and Oil Crops in Guizhou Province, Guiyang 550025, China)

Abstract: From 2021 to 2022, a total of six sowing dates, B1(3/10), B2(3/20), B3(3/30), B4(4/9), B5(4/19) and B6(4/29), were set up in Qingzhen, Guiyang, using Wan Nuo 2000(A1), Nongke Nuo 336(A2), and Caitian Nuo 6 (A3) as the experimental materials, to measure the photosynthetic characteristics of the fresh maize at silking stage, the carbon and nitrogen metabolites at grain filling stage, and the yield. The results showed that the sowing date and variety significantly affected the photosynthetic indexes of leaves, and delayed sowing was conducive to the improvement of photosynthetic characteristics. Late sowing is not conducive to the accumulation of starch, but is favorable to the increase of soluble sugar and protein content. Over two years, yields were significantly lowest for B1 and B2 sowing dates, and the A2 variety consistently showed the lowest yield. Gray correlation analysis showed that relative chlorophyll content and soluble sugar were the key photosynthetic indexes and carbon and nitrogen metabolite affecting yield, respectively. In conclusion, delayed sowing in mid-early April in Qianzhong area and matching suitable varieties is conducive to improving the photosynthetic characteristics of fresh maize, coordinating the balance of carbon and nitrogen metabolites, and promoting the enhancement of yield.

Key words: Fresh maize; Sowing date; Photosynthetic characteristic; Carbon and nitrogen metabolism; Yield

录用日期: 2023-11-29

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0300307)、国家自然科学基金项目(32260533)、贵州省高等学校功能农业重点实验室(黔教基[2023]007)、贵州省玉米现代农业产业技术体系建设项目(GZCYTX2023-01)

作者简介: 安林(1999-), 男, 贵州遵义人, 硕士, 主要从事玉米高产高效栽培理论与技术研究。E-mail: 3258827367@qq.com

宋碧为本文通信作者。E-mail: sb6264@126.com

鲜食玉米生产周期较短,种植效益好。提高鲜食玉米综合生产能力,对满足市场需求和促进经济发展都具有重要意义^[1-2]。花粒期是玉米子粒产量形成的关键时期,为子粒建成提供了绝大部分碳水化合物^[3]。光合作用为子粒建成提供所需的同化物和代谢物,作物光合效率与生物量和产量的形成密切相关,禾谷类作物经济产量的60%以上都来自花后光合产物的积累^[4-6]。碳氮代谢作为作物体内的两大基础代谢,既相辅相成又存在物质和能量的激烈竞争,二者协同调控着作物的生长发育,并影响着最终产量的形成^[7-8]。玉米光合生理特性和碳氮代谢过程受到品种特性^[9]、种植密度^[10]、栽培措施^[11]和气候环境等诸多因素的影响,合理调控光合作用和碳氮代谢,对实现玉米的高产优质生产至关重要。

播期调控是优化作物光合生理特性和碳氮代谢过程,实现产量与资源利用效率协同提升的重要措施^[12]。玉米是典型的C₄作物,具有较高的光合效率和CO₂利用率。适期播种有利于玉米高光效群体的建成,促进玉米光合效率提升,加速干物质的积累与转化,并显著提升子粒产量。胡一凡^[13]等研究认为,不适宜播期内的温度胁迫会降低玉米LAI和光合性能,进而加速叶片衰老,导致同化物吸收能力降低,最终导致减产。在特定环境条件下,不同光合参数之间相互影响、协同作用,适期播种更有利于叶片光合效率的提升,进而增加粒重和产量^[14]。碳氮代谢的协调不仅影响着作物产量、穗数、结实率和粒重的形成,对产量和品质的协同提升也有着重要调控作用^[15]。作物产量受到叶片碳氮含量和碳氮比的显著影响^[16]。Luo等研究表明,不同播期下作物生育期

的气候条件有所差异,进而影响植株的光合特性和碳氮分配,适宜播期有利于改善作物碳氮代谢产物的积累,延缓植株衰老,并促进子粒灌浆。前人的研究多集中在不同播期气象因子对玉米产量和品质的调控,但不同播期鲜食玉米光合特性和碳氮代谢物质积累的差异及其对产量形成的影响尚不够明确,影响鲜食玉米产量形成的主要光合指标和碳氮代谢物质也有待探究。因此,本试验通过开展不同品种鲜食玉米的播期试验,进一步探讨播期对鲜食玉米光合生理特性和碳氮代谢的影响,初步阐明不同播期花粒期光合特性与碳氮代谢和产量形成的关系,为鲜食玉米的适期播种和高产高效栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验于2021-2022年在贵州省清镇市暗流镇(26°8'10"N、106°3'48"E)进行,试验地平均海拔1 189 m,属亚热带季风性湿润气候。田间安装的WS-GP2高性能小型自动气象站监测鲜食玉米生育期内的降水量和气温如图1所示。试验地为黄壤,0~20 cm土层的pH值6.4,有机质21.43 g/kg,全氮2.19 g/kg,全磷0.74 g/kg,全钾11.03 g/kg,速效氮185.76 mg/kg,速效磷7.82 mg/kg,速效钾85.33 mg/kg。

1.2 试验材料

选用3个鲜食玉米品种,万糯2000(A1)为糯玉米,农科糯336(A2)和彩甜糯6号(A3)均为甜+糯玉米。

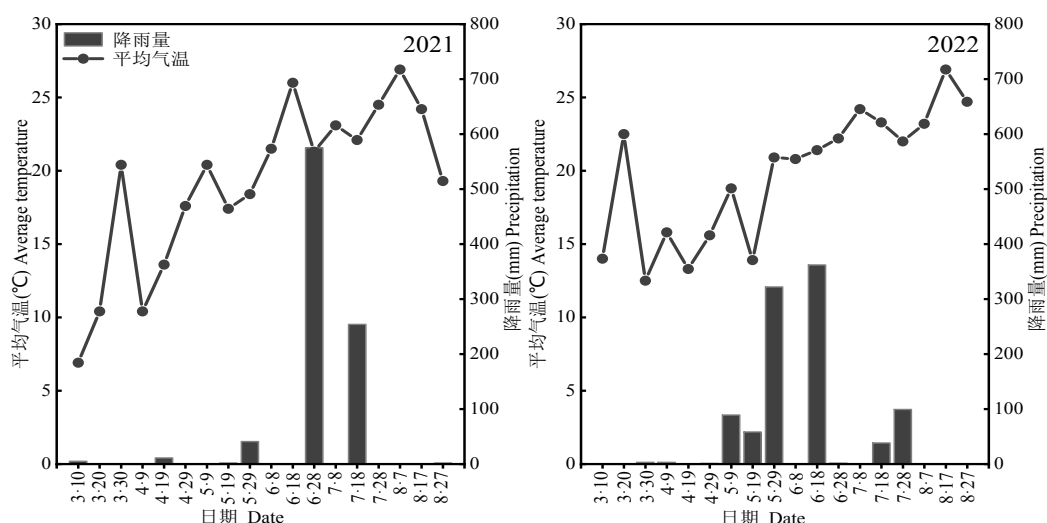


图1 鲜食玉米生育期平均气温和降雨量

Fig.1 Average temperature and precipitation during the growth period of fresh maize

1.3 试验设计

采用二因素裂区设计,主区为播期(月·日),设置 B1(3·10)、B2(3·20)、B3(3·30)、B4(4·9)、B5(4·19)、B6(4·29)共 6 个播期;副区为 A1、A2、A3 品种。采用宽窄行种植,宽行距 80 cm,窄行距 60 cm,小区面积 21 m²,3 次重复,种植密度 47 622 株/hm²。基肥施用复合肥(N:P₂O₅:K₂O=15:15:15)750 kg/hm²,拔节期追肥施用尿素 300 kg/hm²,大喇叭口期追肥施复合肥(N:P₂O₅:K₂O=15:15:15)300 kg/hm²,其他栽培措施同当地鲜食玉米大面积生产一致。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 光合特征参数

叶面积指数(LAI):于吐丝期在各小区随机选取 3 株测定后取平均值。单叶面积=叶片中脉长度×叶片最宽度×0.75;叶面积指数(LAI)=(单株叶面积×小区株数)/小区面积。

叶绿素相对含量(SPAD 值):利用日本柯尼卡美能达公司生产的手持式 SPAD-502Plus 仪测定,于吐丝期在各小区随机选取 3 株测定玉米穗位叶中部及其上下约 6 cm 范围内的 SPAD 值,取平均值。

叶片光合气体参数:利用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 型便携式光合作用测定系统测定,于吐丝期在各小区随机选取 5 株玉米植株,选择晴天早上 9:00–12:00 测定玉米穗位叶的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间二氧化碳浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)等参数进行测定,取平均值。测定条件:LED 光源,PAR=1 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,使用 CO₂小钢瓶控制 CO₂浓度为 400 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

1.4.2 水分利用效率(WUE)和羧化效率(CE)

参照 Oliveira^[17]等方法计算吐丝期叶片的水分利用效率(WUE)和羧化效率(CE)。WUE($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)= P_n/T_r ;CE($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)= P_n/C_i 。

1.4.3 碳氮代谢产物

鲜食玉米吐丝后,每隔 5 d 于各小区随机选取 3 个果穗,用冰盒带回实验室。淀粉和可溶性糖含量利用蒽酮比色法测定;蛋白质和子粒全氮含量利用凯氏定氮法测定^[18]。

1.4.4 碳氮比

参照周卫霞等的方法计算子粒碳氮比。子粒碳氮比=可溶性糖含量/全氮含量。

1.4.5 产量及产量构成因素

在鲜食玉米适宜收获期,分小区实收鲜果穗称重,再折算出单位面积产量。将各小区果穗从大到小排列,用间隔法取 10 穗带回室内考种,考察穗长、穗粗、穗粒数和千粒重。

1.5 数据处理与分析

利用 Microsoft Excel 2016 进行数据统计,利用 IBM SPSS Statistics 22.0 进行方差分析,利用 SPSS 进行灰色关联度分析,利用 Origin 2021 进行作图分析。

2 结果与分析

2.1 播期对鲜食玉米光合生理特性的影响

2.1.1 播期对鲜食玉米 LAI 和 SPAD 值的影响

不同播期下,鲜食玉米吐丝期的 LAI 和 SPAD 值存在显著差异(表 1)。2021 年,B6 播期的 LAI 显著最高,比最低的 B3 播期高 25.28%;SPAD 值在 B1 播期最高,比最低的 B5 播期显著高 17.46%。2022 年,B5 播期的 LAI 显著高于其余播期,比最低的 B1 播期高 20.49%;B1 播期的 SPAD 值显著高于其余播期,比最低的 B5 播期高 19.55%。综合两年来看,播期极显著影响 LAI 和 SPAD 值,晚播有利于 LAI 的提高,但会降低叶片 SPAD 值。品种和年份对 LAI 影响均不显著,但极显著影响 SPAD 值,且两年的 SPAD 值均为 A2 品种显著最低。

2.1.2 播期对鲜食玉米光合气体参数的影响

吐丝期叶片光合气体参数受播期和品种的影响显著。适当晚播有利于保持较高的 P_n 和 G_s ,2021 年, P_n 和 G_s 均在 B6 播期下显著最高,且分别比最低播期高 13.36% 和 44.44%;2022 年, P_n 和 G_s 均在 B4 播期下显著最高,分别比最低播期高 18.35% 和 50.00%。不同品种显著影响 P_n 和 G_s ,两年均为 A3 品种最高。年份显著影响 G_s ,但对 P_n 影响不显著,且 P_n 和 G_s 还受到播期和品种互作效应的极显著影响。 C_i 和 T_r 也受到播期的极显著影响,2021 年, C_i 和 T_r 分别在 B6、B5 播期显著最高,分别比最低播期高 46.78%、49.41%;2022 年, C_i 和 T_r 分别在 B1、B2 播期显著最高,分别比最低播期高 36.35%、25.12%。不同品种显著影响 T_r 值,两年均为 A3 品种显著最高,但对 C_i 影响不显著。年份极显著影响 C_i ,显著影响 T_r ,且播期和品种的互作效应极显著影响 T_r 值,但对 C_i 影响不显著。

2.1.3 播期对鲜食玉米叶片 WUE 和 CE 的影响

不同播期显著影响鲜食玉米叶片的 WUE 和 CE (图 2),但变化规律不明显。2021 年,A1 和 A3 品种的 WUE 均在 B3 播期最高,分别为 7.79、8.12 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$,比最低的 B5 播期高 44.26% 和 61.43%;A2 品种在 B2 播期最高,达 8.03 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$,比最低的 B4 播期高 54.72%。2022 年,A1 和 A2 品种的 WUE 均在 B1 播期最高,分别为 7.54、

表1 播期对鲜食玉米吐丝期LAI、SPAD值和光合气体参数的影响

Table 1 Effects of sowing date on LAI, SPAD values, and photosynthetic gas parameters of fresh maize during silking period

品 种	播 期	LAI		SPAD值 SPAD value		P_n [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]		G_s [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]		C_i [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]		T_i [$\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	
		2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022
A1	B1	2.60 b	2.77 b	64.65 a	66.01 a	22.86 c	25.31 c	0.17 b	0.25 ab	162.87 abc	209.87 a	3.12 b	3.40 c
	B2	2.83 a	3.01 b	63.97 a	58.99 b	23.78 bc	29.45 ab	0.20 b	0.29 a	190.90 ab	199.62 ab	3.30 b	5.84 a
	B3	2.48 b	3.29 b	58.84 bc	56.45 b	27.19 ab	26.56 abc	0.18 b	0.19 b	132.04 bc	139.93 c	3.35 b	4.56 b
	B4	2.99 a	3.08 b	56.98 bc	57.24 b	26.04 abc	30.20 a	0.24 ab	0.29 a	160.28 abc	208.99 a	3.96 ab	4.72 b
	B5	2.90 c	4.51 a	56.01 c	55.82 b	25.12 bc	25.08 c	0.20 b	0.26 ab	120.26 c	220.19 a	4.58 a	4.18 bc
	B6	3.45 a	2.81 b	59.25 b	58.89 b	29.55 a	25.71 bc	0.29 a	0.19 b	212.59 a	164.47 bc	4.75 a	3.99 bc
A2	B1	3.02 a	2.61 a	62.08 a	63.76 a	26.53 b	28.99 ab	0.17 b	0.26 a	128.84 bc	193.03 ab	3.45 b	3.71 b
	B2	3.10 a	3.11 a	60.58 a	56.81 b	26.91 b	29.68 ab	0.20 b	0.28 a	156.65 b	200.82 ab	3.37 b	5.43 a
	B3	2.61 b	2.96 a	56.01 b	53.67 c	24.83 b	28.16 ab	0.17 b	0.23 a	140.14 bc	166.96 bc	3.39 b	5.42 a
	B4	2.83 a	2.36 a	54.69 b	56.09 bc	24.82 b	26.88 b	0.19 b	0.26 a	129.65 bc	214.90 a	4.88 a	4.4 ab
	B5	3.32 a	2.70 a	54.03 b	54.44 bc	24.75 b	30.09 a	0.17 b	0.28 a	105.83 c	196.04 ab	4.18 a	4.96 a
	B6	3.59 a	3.13 a	54.59 b	57.49 b	31.44 a	27.11 ab	0.29 a	0.23 a	202.38 a	143.90 c	4.87 a	5.10 a
A3	B1	3.20 a	3.27 ab	66.83 a	65.27 a	24.82 bc	29.63 b	0.19 c	0.35 a	129.65 b	239.88 a	4.88 b	5.23 a
	B2	2.97 a	3.17 ab	61.11 b	55.94 cd	30.38 a	28.18 bc	0.27 a	0.23 c	199.94 a	172.28 c	4.14 bc	4.90 ab
	B3	2.98 a	2.75 b	57.43 c	53.01 d	29.00 a	27.87 bc	0.21 bc	0.22 c	154.44 ab	171.39 c	3.58 cd	5.28 a
	B4	2.49 a	3.76 a	58.07 c	58.07 c	21.66 c	34.82 a	0.16 c	0.36 a	132.39 b	209.61 b	3.19 d	5.49 a
	B5	3.58 a	3.20 ab	54.76 d	55.19 cd	30.37 a	28.97 c	0.31 a	0.28 b	168.98 ab	212.85 ab	6.05 a	4.69 ab
	B6	3.08 a	3.13 ab	59.93 bc	61.71 b	28.29 ab	25.71 bc	0.27 ab	0.19 c	205.84 a	164.47 c	4.53 b	3.99 b
播 期	B1	2.94 abc	2.88 b	64.52 a	65.01 a	25.19 bc	28.11 bc	0.18 c	0.29 ab	141.55 b	216.23 a	3.90 cd	4.36 c
	B2	2.97 abc	3.10 a	61.89 b	57.25 c	27.03 ab	29.85 ab	0.22 b	0.26 b	182.50 a	190.34 b	3.60 de	5.38 a
	B3	2.69 c	3.00 ab	57.42 c	54.38 d	26.35 abc	27.58 cd	0.18 c	0.21 c	144.79 b	160.01 c	3.40 e	5.11 ab
	B4	2.77 bc	3.07 a	56.58 d	57.14 c	24.63 c	30.90 a	0.2 bc	0.30 a	141.87 b	210.90 ab	4.09 bc	4.80 bc
	B5	3.27 ab	3.47 a	54.93 c	55.15 d	27.31 ab	28.32 bc	0.23 ab	0.28 ab	137.70 b	208.74 ab	5.08 a	4.65 bc
	B6	3.37 a	3.02 ab	57.92 c	59.37 b	27.92 a	26.11 d	0.26 a	0.20 c	202.11 a	158.59 c	4.36 b	4.30 c
品 种	A1	2.88 a	3.25 a	59.95 a	58.90 a	24.92 b	27.63 b	0.21 b	0.24 b	166.37 a	187.79 a	3.76 b	4.45 b
	A2	2.98 a	2.81 a	57.48 b	57.05 b	26.66 a	28.41 ab	0.20 b	0.25 ab	142.88 b	186.14 a	4.02 b	4.86 a
	A3	3.13 a	3.21 a	58.96 a	58.2 ab	27.64 a	29.29 a	0.24 a	0.27 a	166.00 a	196.14 a	4.44 a	4.95 a
变异来源	播 期	1.49**		67.05**		1.97**		5.26**		4.21**		5.98**	
	品 种	2.80		17.55**		10.23*		8.71*		4.24		15.41*	
	年 份	3.01		5.60**		24.79		41.67*		43.51**		58.58*	
	播期×品种	2.38*		2.33**		2.17**		1.80**		1.00		6.50**	
	播期×年份	1.91		7.96**		6.25		8.59		11.39**		15.56	
	品种×年份	1.10		1.70		0.35		1.04		1.52		0.69	

注:不同小写字母表示处理间差异达5%显著水平;*和**分别表示在5%和1%水平上差异显著。下表同。

Note: The different small letters represent significance at 0.05 levels; * and ** indicate significant difference at the 5% and 1% levels, respectively. The same below.

7.83 $\mu\text{mol}/\text{mmolL}$,比各自最低的B2、B3播期高36.35%和48.02%;A3品种在B4播期达到最高,为6.70 $\mu\text{mol}/\text{mmolL}$,比最低的B1播期高27.13%。2021年各品种的CE随播期推迟呈降-增-降趋势,且A1、A2和A3品种的CE分别在B4、B5和B1播期达到最高,分别为0.24、0.25和0.21 $\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。2022年各品种的CE随播期推迟呈增-降-增趋势,A1、A2和A3

品种的CE分别在B3、B6和B2播期达到最高,分别为0.19、0.19和0.17 $\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

2.2 播期对鲜食玉米碳氮代谢的影响

2.2.1 播期对鲜食玉米灌浆期淀粉积累的影响

鲜食玉米子粒淀粉含量吐丝后不断增加,不同阶段播期间差异显著(图3)。吐丝后5~15 d,淀粉增长速率较慢,播期间差异不明显;随着吐丝后天数

的持续增加,淀粉含量呈指数增长,不同播期间淀粉含量差异逐渐增大;吐丝后 25 ~ 30 d,淀粉增长速率放缓,播期间差异亦明显。各播期均在吐丝后 30 d 达到最大淀粉含量,A1 品种在 B3 播期淀粉含量最高,达 637.19 mg/g,比最低的 B1 播期高出 33.47%; A2 品种在 B4 播期淀粉含量最高,达 553.77 mg/g,比

最低的 B3 播期高出 36.12%; A3 品种在 B1 播期淀粉含量最高,达 628.92 mg/g,比最低的 B2 播期高出 46.11%。不同品种间,A1 品种各播期灌浆期淀粉含量的积累均较高,A3 品种各播期差异较大,表明淀粉含量受到播期和品种的共同调控。

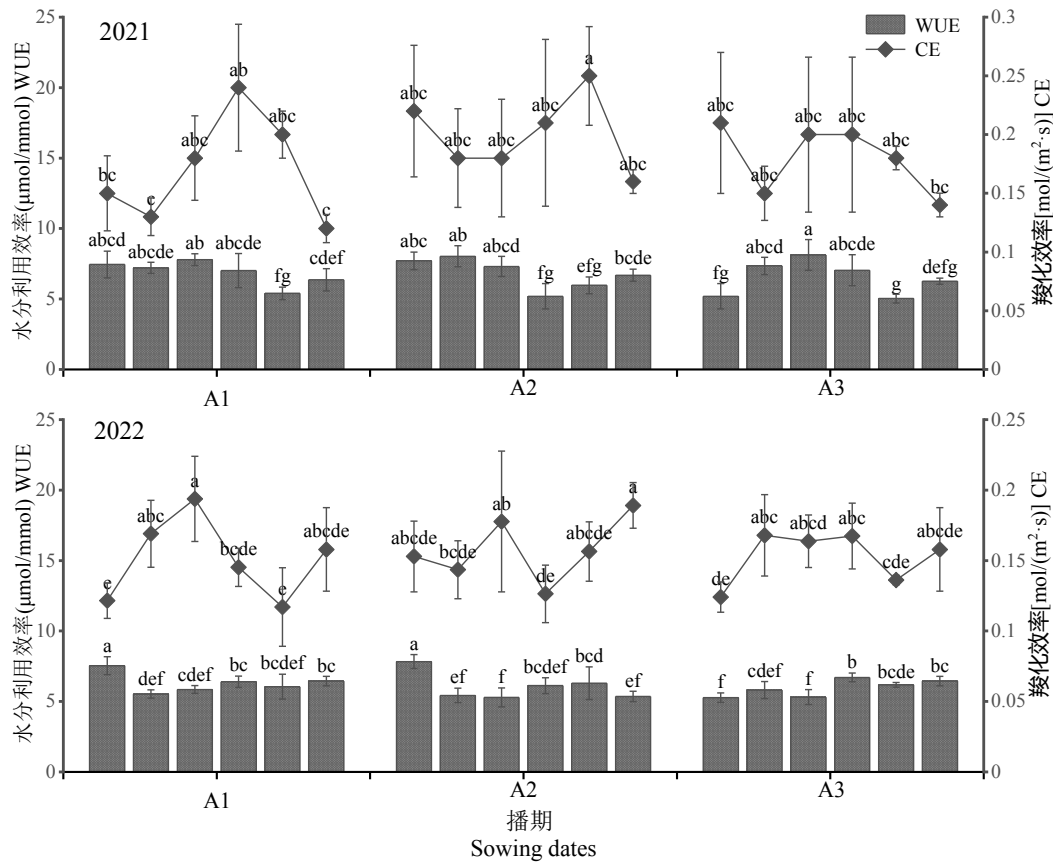


图2 不同播期及品种鲜食玉米叶片水分利用效率和羧化效率

Fig.2 WUE and CE of fresh maize leaves at different sowing dates and varieties

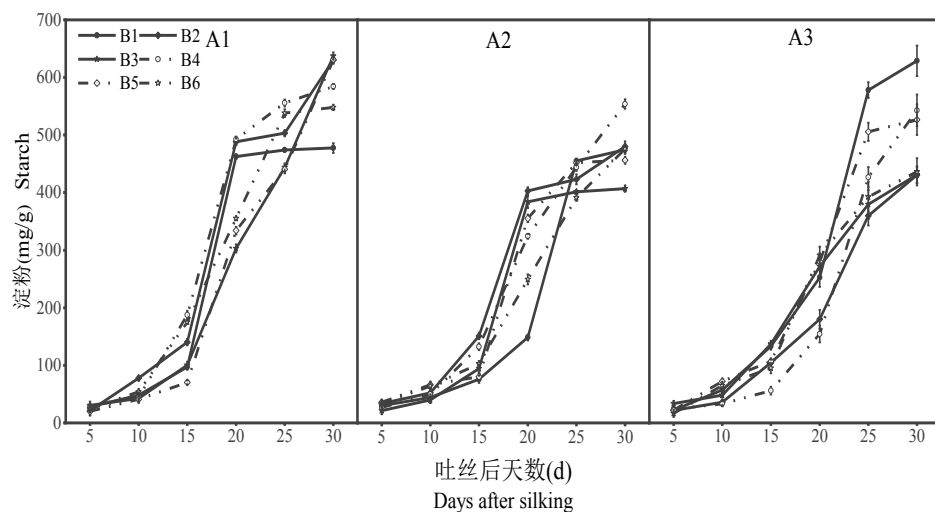


图3 不同播期及品种灌浆期子粒淀粉积累(2022年)

Fig.3 Starch accumulation during grain filling stages at different sowing dates and varieties(2022)

2.2.2 播期对鲜食玉米灌浆期可溶性糖积累的影响

鲜食玉米子粒可溶性糖含量随吐丝天数增加呈先增后降的趋势,不同播期和品种间差异明显(图4)。A1和A3两个品种的各播期均在吐丝后15 d达到最大可溶性糖含量,其中A1品种在B2播期可溶性糖含量最高,达105.52 mg/g,比最低的B4播期高出25.63%;A3品种在B6播期可溶性糖含量最高,达96.80 mg/g,比最低的B2播期高出14.90%。A2品种

的B1、B2、B3前3个播期在吐丝后15 d达到最大可溶性糖含量,最高值为B1播期的108.60 mg/g,而B4、B5、B6后3个播期均在吐丝后20 d才达到最大可溶性糖含量,最高值为B5播期的107.73 mg/kg。不同品种间,A2品种灌浆期可溶性糖含量的积累较高,但播期间的差异较大,而A3品种各播期灌浆期可溶性糖的含量均较低,表明子粒可溶性糖的积累除了受播期影响外还受到品种特性的影响。

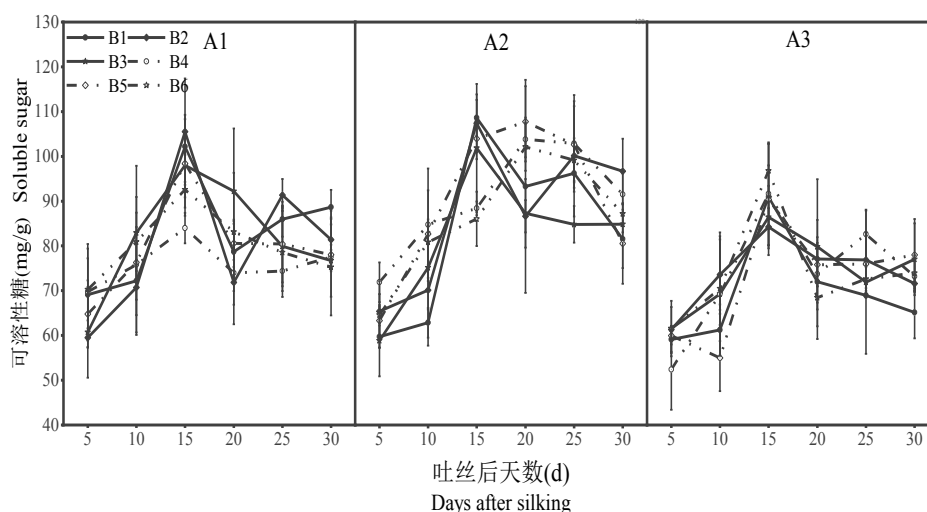


图4 不同播期及品种灌浆期子粒可溶性糖积累(2022年)

Fig.4 Soluble sugar accumulation during grain filling stages at different sowing dates and varieties(2022)

2.2.3 播期对鲜食玉米灌浆期蛋白质积累的影响

鲜食玉米子粒蛋白质含量吐丝后不断降低,不同阶段播期间差异显著(图5)。这与灌浆期淀粉的积累趋势相反,表明随着子粒灌浆天数的增加,光合碳代谢增强,但会影响氮代谢过程。各播期均在吐丝后5~20 d呈快速下降趋势,吐丝后20~30 d下降

速率逐渐减缓,但不同播期间的下降幅度不同,不同品种间蛋白质含量的变化也有所差异。A1品种吐丝后5 d在B5播期蛋白质含量最高,达292.88 mg/g,吐丝后30 d在B4播期达到最高,为111.14 mg/g,比最低的B2播期高出54.42%;A2品种吐丝后5 d在B3播期蛋白质含量最高,达264.50 mg/g,吐丝后30 d

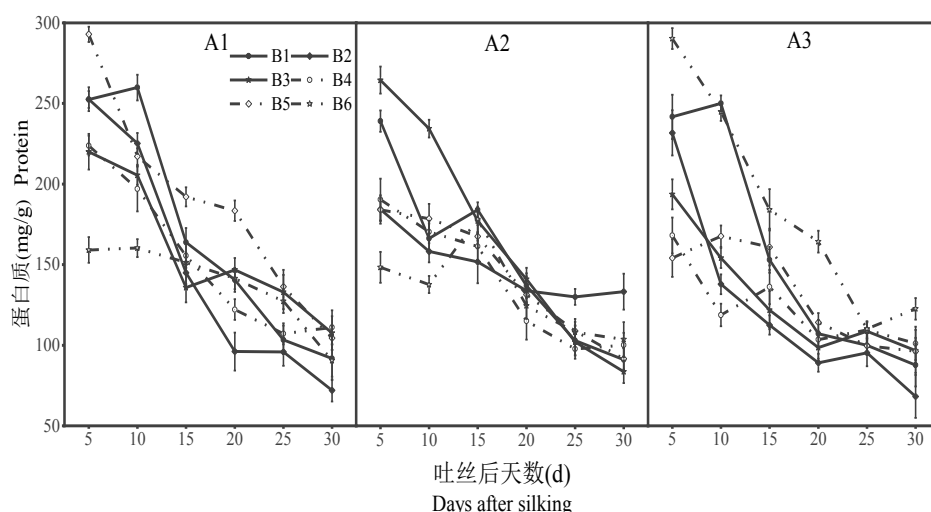


图5 不同播期及品种灌浆期子粒蛋白质积累(2022年)

Fig.5 Protein accumulation during grain filling stages at different sowing dates and varieties(2022)

在B2播期达到最高,为133.20 mg/g,比最低的B3播期高出59.46%;A3品种吐丝后5 d在B6播期蛋白质含量最高,达290.30 mg/g,吐丝后30 d也在B6播期达到最高,达122.63 mg/g,比最低的B2播期高出79.70%。

2.2.4 播期对鲜食玉米灌浆期子粒碳氮比的影响

随着播期推迟,各品种适宜收获期的子粒碳氮比均呈下降趋势,且各品种前3个播期的子粒碳氮比均显著高于后3个播期(图6)。A1、A2和A3品种

的碳氮比均在B1播期显著最高,分别为5.33、5.41和5.04。A1、A2品种的碳氮比均在B5播期显著最低,分别为3.41、3.77,分别比最高的B1播期少56.30%、43.50%;A3品种的碳氮比在B6播期显著最低,为3.66,比最高的B1播期少37.70%。不同品种间,A2品种除B5播期碳氮比略低于A3品种,其余各播期的碳氮比均高于A1、A3两个品种,表明品种特性也会一定程度影响鲜食玉米子粒碳氮比。

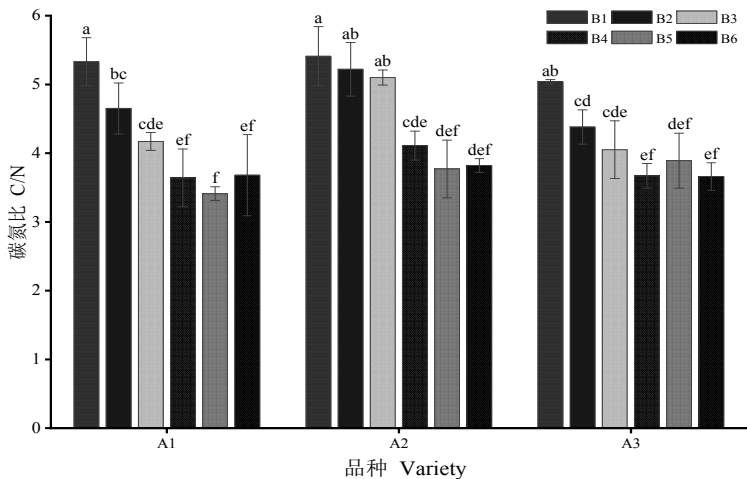


图6 不同播期及品种子粒碳氮比(2022年)

Fig.6 Kernels carbon nitrogen ratio of different sowing dates and varieties(2022)

2.3 播期对鲜食玉米产量及产量构成因素的影响

不同播期对鲜食玉米产量及其构成因素影响显著(表2),产量随播期推迟呈升高趋势。2021年和2022年产量分别在B5和B6播期显著最高,且分别比各自最低的B2、B1播期高44.89%和8.19%。不同品种下,两年均为A1、A3品种显著高于A2品种;年份也显著影响产量,2021年B4、B5和B6播期的产量分别比2022年相同播期高31.93%、38.20%和27.62%。不同播期极显著影响千粒重,2021年和

2022年分别在B5和B4播期显著最高;同时显著影响有效穗数,两年均在B3播期最高,但对穗粒数影响不显著。品种对有效穗数、穗粒数和千粒重均有极显著影响,两年有效穗数和千粒重均为A2品种最低,穗粒数均为A3品种最低。年份极显著影响有效穗数和穗粒数,显著影响千粒重,表明年际间的气候差异也会显著影响产量形成,但不同年份均为适当迟播更有利于实现高产。

表2 播期对鲜食玉米产量及产量构成因素的影响

Table 2 Effects of sowing date on the yield and yield components of fresh maize

品 种 Variety	播 期 Sowing date	产量(kg/hm ²) Yield		有效穗数(穗/hm ²) Effective ears		穗粒数(粒) Kernels per ear		千粒重(g) 1 000-grain weight	
		2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022
A1	B1	19 441.64 b	17 475.69 a	37 142.86 a	41 587.30 a	503.56 a	547.13 a	336.46 a	431.5 a
	B2	19 706.05 b	18 804.71 a	36 507.94 a	44 126.98 a	522.22 a	523.67 a	379.82 a	356.07 c
	B3	18 694.17 b	18 289.22 a	38 730.16 a	44 761.90 a	506.53 a	568.49 a	340.71 a	392.54 abc
	B4	23 602.16 a	18 103.81 a	34 285.71 a	42 539.68 a	484.44 a	538.18 a	218.02 b	403.73 ab
	B5	23 612.29 a	17 901.36 a	36 507.94 a	42 539.68 a	522.69 a	548.73 a	422.07 a	372.04 bc
	B6	23 642.34 a	18 672.55 a	37 142.86 a	44 126.98 a	529.13 a	503.78 a	396.33 a	382.12 bc

续表2 Continued 2

品 种 Variety	播 期 Sowing date	产量(kg/hm ²) Yield		有效穗数(穗/hm ²) Effective ears		穗粒数(粒) Kernels per ear		千粒重(g) 1 000-grain weight	
		2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022
A2	B1	18 481.80 b	15 105.82 a	32 380.95 a	43 809.52 a	519.71 a	525.80 c	371.83 a	316.15 c
	B2	15 345.36 b	16 939.16 a	29 841.27 a	43 809.52 a	497.68 a	534.69 bc	323.03 a	382.59 b
	B3	17 842.62 b	15 521.06 a	34 285.72 a	40 952.38 a	515.64 a	576.51 ab	390.55 a	305.92 c
	B4	23 810.71 a	17 785.88 a	36 825.40 a	41 269.84 a	539.38 a	558.09 bc	266.28 a	407.05 ab
	B5	25 765.46 a	16 545.57 a	38 095.24 a	41 269.84 a	511.02 a	592.49 a	369.77 a	381.07 b
	B6	23 214.68 a	17 243.80 a	36 825.40 a	42 539.68 a	527.18 a	511.57 c	268.67 a	421.14 a
A3	B1	18 330.69 b	17 800.00 b	35 238.09 b	41 587.30 b	493.44 ab	508.48 a	341.08 b	426.15 a
	B2	17 197.95 b	18 788.07 a	33 650.79 b	44 444.44 ab	436.30 c	463.62 a	417.82 a	383.55 b
	B3	20 988.96 a	17 473.74 b	49 841.27 a	43 809.52 ab	438.13 c	456.98 a	325.91 b	394.99 ab
	B4	24 884.21 a	16 909.06 b	36 825.40 b	43 174.60 ab	457.44 bc	478.39 a	417.47 a	394.72 ab
	B5	26 326.66 a	18 237.24 a	37 142.86 b	47 301.59 a	449.64 c	492.49 a	383.77 ab	366.02 b
	B6	23 628.34 a	18 313.80 a	37 460.32 b	44 126.98 ab	526.98 a	547.13 a	388.69 ab	371.24 b
播 期	B1	18 751.38 cd	17 016.06 b	34 920.63 b	42 328.04 a	510.77 a	527.14 a	349.79 ab	391.27 ab
	B2	17 416.45 d	18 177.31 a	33 333.33 b	44 126.98 a	512.09 a	507.33 a	373.56 ab	374.07 bc
	B3	19 175.25 c	17 650.23 ab	40 952.38 a	43 174.60 a	511.01 a	551.10 a	352.39 ab	364.48 c
	B4	24 099.03 ab	18 266.25 a	35 978.84 b	42 328.04 a	525.86 a	524.89 a	300.59 b	401.83 a
	B5	25 234.81 a	18 259.23 a	37 248.68 ab	43 703.70 a	455.96 a	544.57 a	391.87 a	373.04 bc
	B6	23 495.12 b	18 410.05 a	37 142.86 ab	43 597.88 a	478.02 a	504.97 a	351.23 ab	391.5 ab
品 种	A1	21 449.77 ab	18 207.89 a	36 719.58 ab	43 280.42 a	511.43 a	540.45 a	348.9 ab	389.67 a
	A2	20 743.44 b	17 245.77 b	34 709.00 b	42 275.13 a	518.44 a	549.86 a	331.69 b	368.99 b
	A3	21 892.80 a	18 435.90 a	38 359.79 a	44 074.07 a	466.98 b	489.69 b	379.12 a	389.44 a
变异来源	播 期	20.37**		2.66*		0.52		8.79**	
	品 种	8.54*		5.65**		16.63**		5.10**	
	年 份	127.56**		99.38**		6.96**		4.86*	
	播期×品种	1.38**		1.71		1.06		7.51**	
	播期×年份	17.38**		2.84*		1.54		2.78*	
	品种×年份	0.47		0.65		0.32		3.19*	

2.4 光合特征参数和碳氮代谢物质与产量的灰色关联度分析

表3 光合特征参数和碳氮代谢产物与产量的灰色关联度分析
Table 3 Grey correlation analysis of photosynthetic characteristic parameters and carbon and nitrogen metabolites with yield

指 标 Index	LAI	SPAD值 SPAD value	P_n	G_s	C_i	T_r	淀 粉 Starch	可溶性糖 Soluble sugar	蛋白质 Protein	碳氮比 C/N
产 量	0.749	0.795	0.739	0.661	0.655	0.653	0.691	0.691	0.718	0.634
排 名	2	1	3	7	8	9	6	5	4	10
有效穗	0.770	0.844	0.793	0.682	0.685	0.681	0.657	0.751	0.709	0.661
排 名	3	1	2	7	6	8	10	4	5	9
穗粒数	0.706	0.762	0.751	0.691	0.715	0.650	0.678	0.806	0.687	0.658
排 名	5	2	3	6	4	10	8	1	7	9
千粒重	0.734	0.803	0.740	0.629	0.699	0.720	0.688	0.768	0.719	0.652
排 名	4	1	3	10	7	5	8	2	6	9
平均关联度	0.740	0.801	0.756	0.666	0.689	0.676	0.679	0.754	0.708	0.651
排 名	4	1	2	9	6	8	7	3	5	10

注:分辨系数 $P=0.5$ 。
Note: Distinguishing coefficient $P=0.5$.

将产量作为母序列,光合特征参数和碳氮代谢物质作为特征序列,以0.5的分辨系数进行灰色关联度分析(表3)。结果显示,SPAD值对产量、有效穗数和千粒重的影响均为最大,关联系数分别达0.795、0.844和0.803;可溶性糖含量对穗粒数影响最大,关联系数为0.806。对产量和有效穗影响较大的指标主要为SPAD值、 P_n 和LAI,影响穗粒数和千粒重的主要指标为SPAD值、可溶性糖和 P_n ,表明可溶性糖含量对子粒建成的影响比LAI更重要。各指标对产量形成的平均关联度排名为SPAD值> P_n >可溶性糖>LAI>蛋白质> C_i >淀粉> T_i > G_s >碳氮比。不同播期和品种下的光合生理特性以及碳氮代谢物质积累均存在一定差异,因此会不同程度影响鲜食玉米产量的形成。

3 结论与讨论

3.1 播期对鲜食玉米光合生理特性的影响

合理的播期有利于延缓植株衰老,对改善作物光合代谢至关重要。Tian^[19]等研究指出,优化叶面积动态、生育期和环境之间的相互作用是提高玉米产量的有效策略。LAI是衡量作物群体生长发育状况的关键指标之一,适宜的LAI有利于保持玉米叶片较高的光合性能,增加同化物的供应,进而增强子粒灌浆和产量形成^[20]。叶片中的叶绿素含量直接影响玉米的光合效率,SPAD值是反应叶片相对叶绿素含量的重要参数^[21]。本研究表明,早播鲜食玉米SPAD值较高,且随着播期推迟呈先降后升的趋势,适当晚播更有利于LAI的提高,这可能是由于试验材料和气候条件的不同所导致。在特定气象条件下,玉米叶片不同光合参数协同影响玉米的生长发育和产量形成, P_n 和 C_i 反映了植物光合作用的固碳效率, G_s 和 T_i 用于测量叶片内部和外界的气体和水交换过程。本试验下,鲜食玉米吐丝期叶片的 P_n 、 G_s 、 C_i 、 T_i 均受到播期的极显著调控,表明不同播期下吐丝期的外界气候变化是影响植物光合生理特性的重要因素,同时, P_n 、 G_s 、 T_i 还受到品种的显著调控。光合气体参数随播期推迟均呈先增后降的趋势,表明适当晚期有利于鲜食玉米光合效率的提高,但过晚播种会抑制此效应。WUE提高有利于玉米光合活性的提高,并能在一定程度上提升玉米的抗旱能力。CE反映了植物光合碳同化途径中进行羧化反应的效率,它是光合碳同化过程的关键限速步骤,提升玉米叶片的CE,将有利于提高其 CO_2 同化效率。本试验发现,早播玉米吐丝期气温较低,导致叶片 T_i 较低,WUE较高,但温度偏低不利于玉米进行光合

作用,因而 P_n 较低,导致CE较低。适宜播期下,吐丝期叶片WUE和CE均较高,可能更有利于叶片有机物的积累。

3.2 播期对鲜食玉米子粒碳氮代谢的影响

碳氮代谢紧密控制着作物的生长发育,碳水化合物与含氮有机物的特定分配和动态变化直接影响光合产物的转化与源库关系的协调,子粒碳氮代谢的协调与平衡是充分发挥个体生产潜力、提高作物产量和品质的生理生化基础^[22-23]。淀粉和可溶性糖是植物碳代谢的主要产物,可溶性糖是碳水化合物的暂存形式,吐丝前期,子粒可溶性糖含量不断上升,但随着子粒灌浆的推进,大量可溶性糖又转化为淀粉贮藏在子粒胚乳细胞中。因此,随着吐丝期天数的增加,子粒中的淀粉含量不断增多,而可溶性糖含量呈先增后降的趋势。本试验发现,晚播不利于子粒淀粉积累,但有利于保持较高的可溶性糖含量,这可能是由于玉米晚播易导致灌浆期高温,淀粉积累过早停止,减少了可溶性糖向淀粉的转化^[24]。子粒灌浆期氮代谢主要是功能叶片分解蛋白质产生氨基酸,进而向子粒运输合成新的蛋白质的过程。可溶性蛋白是植物氮代谢的最终产物,其含量高低直接反映了植物氮代谢强弱,并最终影响产量和品质^[25]。本试验发现,子粒蛋白质含量在灌浆初期迅速下降,而中后期下降速率变缓。晚播玉米蛋白质含量更高,可能是由于晚播玉米灌浆期温度较高,叶片衰老和蛋白质降解较快,更有利于氮素向子粒的转移^[26]。子粒碳氮比反映了植物体内碳氮代谢状况及协调程度,同时也是光合产物分配的重要指标,对植物生长发育有着重要影响。本试验发现,子粒碳氮比随着播期推迟呈显著下降趋势,可能是子粒全氮随播期推迟而升高造成,但碳氮比降低并没有影响产量^[27]。

3.3 播期对鲜食玉米产量形成的影响

合理的播期是充分利用气候资源,最终实现高产的重要保证^[28]。玉米高产主要依赖于花粒期群体光合特性的提升以及碳氮代谢的协调^[29]。Bonelli^[30]等研究表明,晚播子粒灌浆期光热条件逐步恶化,导致穗粒数、粒重和收获指数均下降,不利于玉米产量及其构成因素的形成,因而导致减产。本研究发现,播期和品种均会显著影响产量及其构成因素,表明玉米子粒灌浆和产量形成同时受环境因素和品种特性的影响。较高的光合效率有利于生物量的积累,增强花后干物质的同化能力比增强其转运能力更能促进玉米产量的进一步提高。叶片是影响玉米光合作用的主要器官,叶片碳代谢较弱可能会引起子粒

败育,并影响最终产量^[31]。本研究发现,不同播期的光合特性对产量形成显著影响。灰色关联度分析表明,SPAD值、 P_n 和LAI是影响产量形成的重要光合指标。可溶性糖是影响产量形成的主要碳氮代谢物质,可能是由于糖类不仅为其余物质合成提供能量,且蔗糖作为叶片光合产物的运输形式,其含量的高低还直接影响着子粒灌浆和粒重增加。因此,适期播种并搭配适宜的品种,有利于提升鲜食玉米光合能力,协调子粒碳氮代谢,并增强子粒灌浆和产量形成。

播期对不同品种鲜食玉米花粒期光合特性和碳氮代谢均有一定的调控作用,并能进一步影响产量的形成。SPAD值、 P_n 和LAI是影响产量形成的主要光合生理指标,可溶性糖是影响产量形成的主要碳氮代谢物质。在黔中地区适当推迟鲜食玉米播种期至4月中上旬,更有利于改善叶片光合生理特性,协调碳氮代谢的平衡,并最终增加鲜食玉米产量。同时,不同地区气候和环境资源不同,生产上应因地制宜合理配置作物品种和种植技术,实现作物产量和资源利用效率的协同提升。

参考文献:

- [1] 王绍新,王宝宝,李中建,等.中国鲜食玉米的研究脉络和趋势探析[J].中国农学通报,2023,39(1):8-15.
WANG S X, WANG B B, LI Z J, et al. Research context and trend of fresh-eating corn in China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2023, 39(1): 8-15. (in Chinese)
- [2] 杨 丽,陈天宇,王怀鹏,等.寒地半干旱区鲜食玉米品种适应性和品质性状分析[J].玉米科学,2019,27(3):54-60.
YANG L, CHEN T Y, WANG H P, et al. Analysis of adaptability and quality characteristics of fresh eating waxy maize in the cold area of China[J]. Journal of Maize Sciences, 2019, 27(3): 54-60. (in Chinese)
- [3] 王 丹,吕艳杰,姚凡云,等.不同栽培模式春玉米花粒期冠层不同部位叶片的衰老特性[J].中国生态农业学报(中英文),2022,30(12):1925-1937.
WANG D, LÜ Y J, YAO F Y, et al. Leaf senescence characteristics post-anthesis at different positions of spring maize canopy under different cultivation mode[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2022, 30(12): 1925-1937. (in Chinese)
- [4] 刘 萍,徐顺飞,杜庆平,等.播期对夏玉米产量与光合特性的影响[J].南京农业大学学报,2016,39(5):722-729.
LIU P, XU S F, DU Q P, et al. Effects of sowing date on yield and photosynthetic characteristics of summer maize[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2016, 39(5): 722-729. (in Chinese)
- [5] LUO Y, GONG X W, LIU J J, et al. Sowing date regulates the growth and yield of broomcorn millet (*panicum miliaceum* L.): From two different ecological sites on the Loess Plateau of China[J]. Agronomy-Basel, 2022, 12(7): 1727-1743.
- [6] 张智胜,朱国辉,彭新湘.优化碳同化实现作物高光效研究进展[J].华南农业大学学报,2022,43(6):69-77.
ZHANG Z S, ZHU G H, PENG X X. Advances in improvement of crop photosynthetic efficiency by optimizing the photosynthetic carbon assimilation[J]. Journal of South China Agricultural University, 2022, 43(6): 69-77. (in Chinese)
- [7] 李潮海,刘 奎,连艳鲜.玉米碳氮代谢研究进展[J].河南农业大学学报,2000,34(4):318-323.
LI C H, LIU K, LIAN Y X. The recent progress of research on carbon and nitrogen metabolism in maize[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2000, 34(4): 318-323. (in Chinese)
- [8] 张家桦.不同滴灌方式对春玉米光合特性、碳氮代谢及水氮效率的影响[D].通辽:内蒙古民族大学,2022.
- [9] 王金凤,王壮壮,谷丰序,等.氮密调控对两个冬小麦品种碳氮代谢及产量的影响[J].中国农业科学,2021,54(19):4070-4083.
WANG J F, WANG Z Z, GU F X, et al. Effects of nitrogen fertilizer and plant density on carbon metabolism, nitrogen metabolism and grain yield of two winter wheat varieties[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(19): 4070-4083. (in Chinese)
- [10] 翟立超,张丽华,郑孟静,等.夏玉米粒位效应对增密的响应及其碳氮代谢特征[J].华北农学报,2022,37(5):97-104.
ZHAI L C, ZHANG L H, ZHENG M J, et al. Responses of kernel position effect of summer maize to increasing plant density and its carbon and nitrogen metabolism characteristic[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2022, 37(5): 97-104. (in Chinese)
- [11] 葛选良,钱春荣,李 梁,等.不同栽培模式玉米群体光合及碳氮代谢特性研究[J].玉米科学,2022,30(2):126-131.
GE X L, QIAN C R, LI L, et al. Studies on characteristics of photosynthesis and carbon and nitrogen metabolism in maize of different cultivation patterns[J]. Journal of Maize Sciences, 2022, 30(2): 126-131. (in Chinese)
- [12] 高永刚,高 明,赵慧颖,等.播期对玉米光合特性及产量的影响[J].中国农学通报,2020,36(30):19-27.
GAO Y G, GAO M, ZHAO H Y, et al. Sowing date and yield of maize: effects on photosynthetic characteristics[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(30): 19-27. (in Chinese)
- [13] 胡一凡.播期和施肥方式互作对糯玉米产量及氮素利用率的影响[D].扬州:扬州大学,2023.
- [14] 高永刚,高 明,杨晓强,等.播期对大豆开花期和鼓粒期叶片光合特性及产量的影响[J].大豆科学,2020,39(2):227-234.
GAO Y G, GAO M, YANG X Q, et al. Effects of sowing date on photosynthetic characteristics of leaves in flowering and bulking stage and yield of soybean[J]. Soybean Science, 2020, 39(2): 227-234. (in Chinese)
- [15] 陈心怡.不同光、氮条件下南方软米梗稻碳氮代谢差异及其对产量和品质的影响[D].扬州:扬州大学,2023.
- [16] 陈妮娜,吕慧捷,张益瑞,等.干旱程度和施氮水平对春玉米叶片碳氮含量及碳氮比的影响[J].气象与环境学报,2023,39(3):106-116.
CHEN N N, LÜ H J, ZHANG Y R, et al. Effects of drought degree and nitrogen application level on leaf C and N contents and C/N ratio of spring maize[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2023, 39(3): 106-116. (in Chinese)
- [17] OLIVEIRA S L, CRUSCIOL C A C, RODRIGUES V A, et al. Mo-

- lybdenum foliar fertilization improves photosynthetic metabolism and grain yields of field-grown soybean and maize[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 62–73.
- [18] 周卫霞,董朋飞,王秀萍,等.弱光胁迫对不同基因型玉米子粒发育和碳氮代谢的影响[J].作物学报,2013,39(10):1826–1834.
- ZHOU W X, DONG P F, WANG X P, et al. Effects of low-light stress on kernel setting and metabolism of carbon and nitrogen in different maize(*Zea mays* L.) genotypes[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2013, 39(10): 1826–1834. (in Chinese)
- [19] TIAN B J, ZHU J C, LIU X W, et al. Interacting leaf dynamics and environment to optimize maize sowing date in North China Plain[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2020, 19(5): 1227–1240.
- [20] YAN Y Y, HOU P, DUAN F Y, et al. Improving photosynthesis to increase grain yield potential: an analysis of maize hybrids released in different years in China[J]. *Photosynthesis Research*, 2021, 150 (1–3): 295–311.
- [21] LI Z L, CHEN Q, GAO F, et al. Controlled-release urea combined with fulvic acid enhanced carbon/nitrogen metabolic processes and maize growth[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2022, 102(9): 3644–3654.
- [22] MEENA R K, REDDY K S, GAUTAM R, et al. Improved photosynthetic characteristics correlated with enhanced biomass in a heterotic F-1 hybrid of maize(*Zea mays* L.)[J]. *Photosynthesis Research*, 2021, 147(3): 253–267.
- [23] 朱盈.长三角地区软米粳稻品质特征及优质丰产氮高效协同的碳氮代谢机理[D].扬州:扬州大学,2022.
- [24] ASTHIR B, BALA S, BAINS N S. Metabolic profiling of grain carbon and nitrogen in wheat as influenced by high temperature[J]. *Cereal Research Communications*, 2013, 41(2): 230–242.
- [25] 陈晓昕.灌浆期水稻碳氮代谢物的变化及其对产量品质的影响[D].合肥:安徽农业大学,2021.
- [26] 陈先敏,周亚宁,李斌彬,等.灌浆阶段干旱对玉米强、弱勢位胚乳干物质积累的影响[J].中国农业大学学报,2023,28(5):1–11.
- CHEN X M, ZHOU Y N, LI B B, et al. Impacts of drought occurred in grain-filling phases on dry matter accumulation of endosperms of superior and inferior maize kernel[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(5): 1–11. (in Chinese)
- [27] LI Q, REN Y, FU H, et al. Cultivar differences in carbon and nitrogen accumulation, balance, and grain yield in maize[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13.
- [28] 彭丹丹,吴超,徐开未,等.不同播期玉米子粒灌浆特性及其与气象因子的关系[J].中国生态农业学报(中英文),2022,30(7):1134–1142.
- PENG D D, WU C, XU K W, et al. Relationship between grain filling characteristics of maize and meteorological factors under different sowing dates[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2022, 30 (7): 1134–1142. (in Chinese)
- [29] 史磊,尤丹,肖万欣,等.化控剂对玉米光合作用、农艺性状和产量的影响[J].玉米科学,2014,22(5):59–63,70.
- SHI L, YOU D, XIAO W X, et al. Effects of chemical regulators on photosynthetic characters, agronomic characters and yield characters of maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2014, 22(5): 59–63, 70. (in Chinese)
- [30] BONELLI L E, MONZON J P, CERRUDO A, et al. Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date[J]. *Field Crops Research*, 2016, 198: 215–225.
- [31] 申丽霞.碳氮代谢对夏玉米穗粒数形成的影响机理[D].北京:中国农业大学,2005.
- (责任编辑:栾天宇)